



# **Regional analyse af samspillet mellem satellitdata og jordbundsvariation**

**Delrapport 2 i SLF-projektet (dnr SLF 297/02):  
"Kostnadseffektiv markkartering genom  
stratifierad datainsamling baserad på  
fjärranalys"**

*Anne Jacobsen og Mats Söderström*



## **Forord**

Denne rapport "Regional analyse af samspillet mellem satellitdata og jordbundsvariation" er delrapport 2 under projektet "Kostnadseffektiv markkartering genom stratifierad datainsamling baserad på fjärranalys".

Der rettes en stor tak til Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF), som har finansieret projektet og Sveriges Lantbruksuniversitet, AgroVäst Livsmedel AB og AnalyCen Nordic AB for at være behjælpelige med den praktiske gennemførsel af projektet.

# Indholdsfortegnelse

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INDLEDNING .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>MATERIALER OG METODE .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| Undersøgelsesområdet .....   | 7         |
| Satellitdata.....  | 9         |
| Jordprøver .....   | 10        |
| Klassifikation .....   | 11        |
| Regressionsanalyse .....   | 11        |
| Stratificering af data.....  | 12        |
| <b>RESULTATER OG DISKUSSION.....</b>                                   | <b>12</b> |
| Klassifikation .....   | 12        |
| Ikke stratificeret regional analyse .....                              | 14        |
| Stratificeret regional analyse.....                                    | 14        |
| Stratificeret regional analyse på baggrund af gennemsnitsværdier ..... | 17        |
| Kortlægning af regional jordbundsvariation .....                       | 21        |
| <b>KONKLUSION .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>LITTERATUR.....</b>   | <b>22</b> |

## Sammenfatning

Projektet undersøger muligheden for at foretage en regional kortlægning af jordbundsvariationen ved at anvende et satellitbillede fra det tidligere forår (marts 2003), et sæt af jordprøver (> 2600) analyseret for indholdet i kalium (K-HCl) og organisk materiale og jordartskort fra Sveriges National Atlas. K-HCl-data anvendes som et substitut for lerhaltsanalyser

Satellitdata blev klassificeret i otte spektrale klasser, hvoraf tre klasser beskrev jordbrugsarealet. En af de tre jordbrugsklasser beskrev områder med kun lidt eller ingen vegetation/afgrøder. En anden af de tre jordbrugsklasser beskrev områder med megen vegetation/afgrøder og den sidste klasse var en overgangsklasse mellem de to arealtyper. Klassifikation i spektrale klasser var af systematisk og signifikant betydning for resultaterne.

Jordprøverne blev stratificeret efter jordarter og indholdet i humus med en grænseværdi på 5%. Stratificering af jordprøver i jordarter og humusmængde var uden systematisk betydning for resultaterne.

Projektet viser, at satellitdata kan anvendes til en regional bestemmelse af det gennemsnitlige indhold i K-HCl for områder uden vegetation og at variationen i kaliumindholdet beregnet på baggrund af satellitdata er sammenlignelig med variationen i kaliumindholdet beregnet på baggrund af jordprøver.

Det kan konkluderes, at satellitdata kan anvendes til at udtrykke jordbundsvariationen for områder, der er uden vegetation/afgrøder på tidspunktet for optagelsen af satellitbilledet.

Satellitdata kan dermed anvendes som en indikator for jordbundsvariationen i området og være beslutningsgrundlag for til- eller fravalg af en lokal jordbundskortlægning.

Undersøgelsen er foretaget på allerede etablerede jordprøver, som er til rådighed over det meste af Sydsverige. Det er derfor muligt at anvende den samme metode til regional kortlægning af jordbundsvariation i andre jordbrugsområder, der er dækket af satellitscenen uden yderlige økonomiske udgifter til datamateriale.

## Indledning

Jordprøvetagning har været anvendt i Sverige i mange år til opgørelse af jordbundsressourcer indenfor en markblok. Jordbrugeren har typiske fået taget jordprøver i et rudenet på 100 \* 100 m og fået dem analyseret for indholdet i plantenæringsstoffer og organisk materiale. Der eksisterer derfor et stort antal jordprøver, som tilsammen dækker relativt store dele af Sverige.

Der er et stigende ønske om produktion af jordbundskort til anvendelse indenfor præcisionslandbrug. Jordbundskortene er sammen med udbyttekort bl.a. anvendelige til kortlægning af management zones med henblik på differentieret gødsning og kalkning. Fortsat indsamling af jordprøver og efterfølgende analyse i laboratorium er forbundet med høje omkostninger og der er derfor interessant at nedbringe antallet af jordprøver til markblokke, hvor der er stor en jordbundsvariation og dermed størst mulighed for differentieret afgrødebehandling.

Satellitbilleder registrerer reflekteret solstråling. Reflekteret solstråling er en funktion af overfladens egenskaber og da satellitdata allerede er fladedækkende og dækker store arealer, udgør de en mulig ressourcebesparende datafangstmetode til kortlægning af jordbundsvariation.

Et tidligere projekt (1) har vist, at satellitdata optaget tidligt om foråret indeholder information om jordens lerindhold og et andet projekt (2) har vist, at K-HCl (mg/100 g jord) og andre plantenæringsstoffer er nært knyttet til variationen i lerindhold. Sambandet ( $r^2$ ) mellem lerhalt och K-HCl i de mellansvenska jordarna har i olika rapporter visat sig vara i storleksordningen 0.7-0.9 (6; 7; 1). Der er dermed indikationer for at en overordnet jordbundsvariation af betydning for plantevækst kan udtrykkes ved hjælp af variationen i K-HCl og satellitdata.

Det er projektets problemstilling at undersøge om der er en sammenhæng mellem jordbundsvariationen udtrykt ved kaliumindholdet og jordbundsvariationen udtrykt ved satellitdata med det formål at anvende satellitdata til udpegning af områder med stor jordbundsvariation, hvor der derfor kan være af særligt stort värde att framställa markkartor som är anpassade för præcisionslandbrug.

Regional jordbundskortlægning kan være under indflydelse af regional variationen i det geologiske udgangsmateriale og projektet inddrager data fra Sveriges National Atlas. Desuden påvirkes det satellitregistrerede signal af jordens humusindhold (3) og der har derfor også været anvendt humusdata i undersøgelsen.

## Materialer og metode

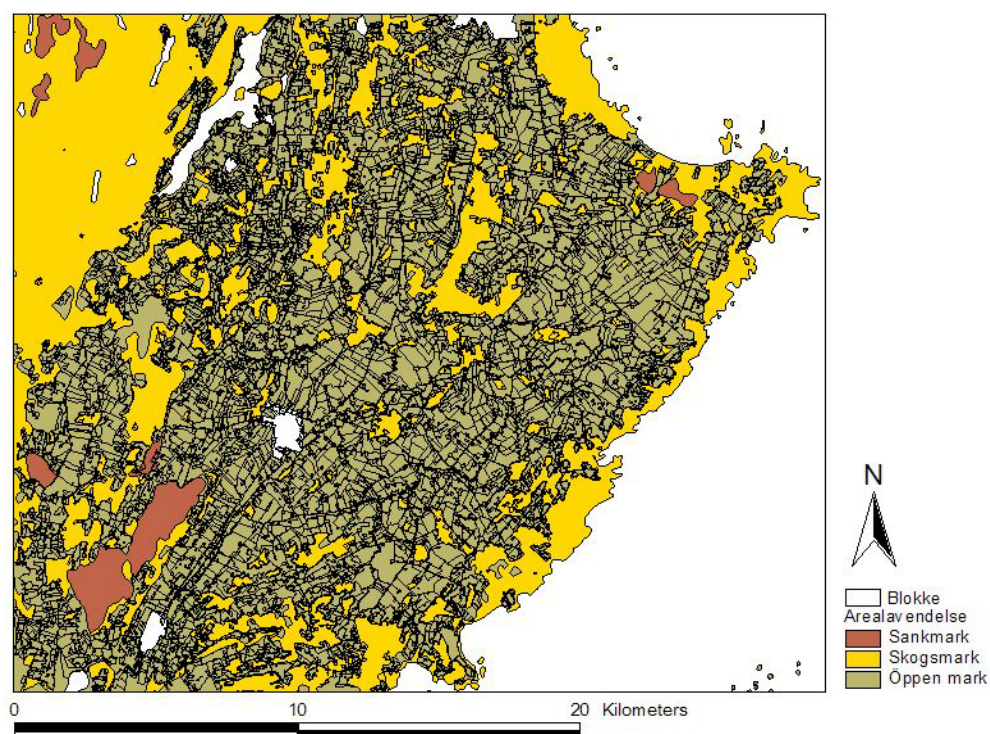
### Undersøgelsesområdet

Undersøgelsesområdet utgøres av delar av Dalbosläppen i Dalsland, som ligger i Västra Götalands län i sydvästra Sverige. Området täcker ca 20x20 km (figur 1).

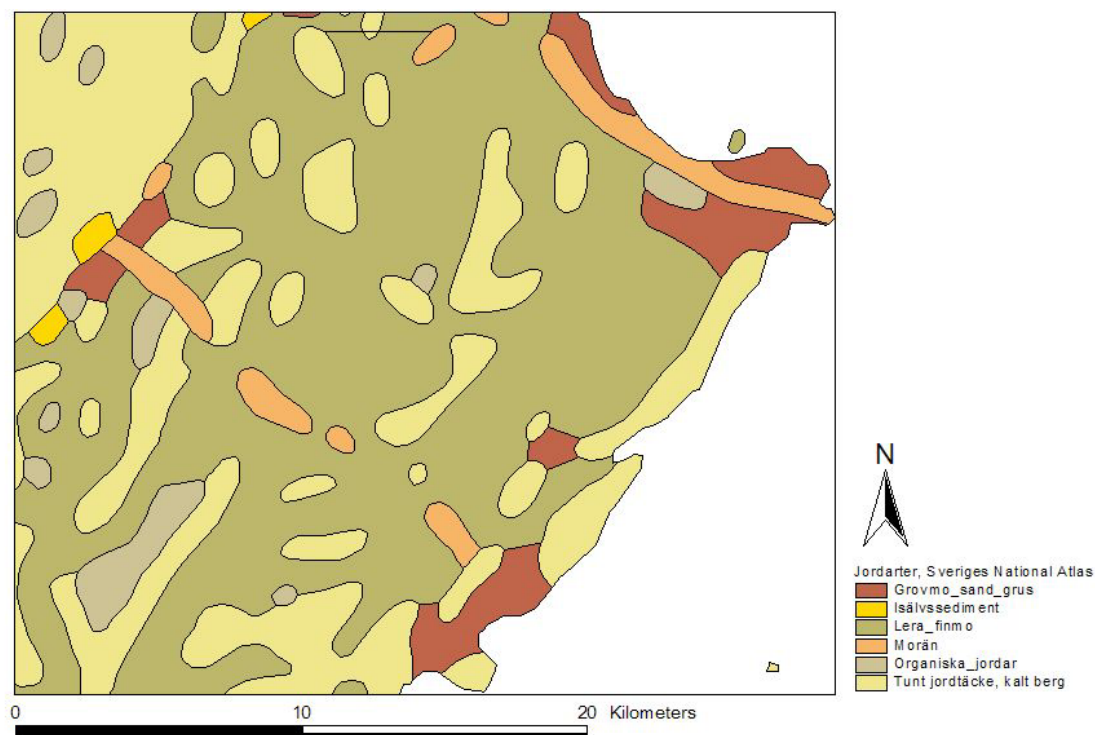


Figur 1: Undersøgelsesområdet Dalbosläppen i Dalsland, Västra Götaland, Sverige.

Figur 2 og figur 3 viser en grov oversigt over arealanvendelse og jordartsforskelle. Landbrugsarealet er vist med blokdata på figur 2 og der ses god overensstemmelse mellem 'Öppen mark' og landbrugsarealet. Det fremgår af de to figurer, at Dalbosläppen er et relativt homogent område med forholdsvis intensivt jordbrug, och det är företrädesvis områden karakteriserade som lera-finmo som är uppodlad.



Figur 2: Översikt över arealanvändelse og jordbruksblokke på Dalboslätten som hämtats från Lantmäteriets översiktskarta (f d "Röda kartan"). Blockkartan som visar åkermark härrör från Jordbruksverket.

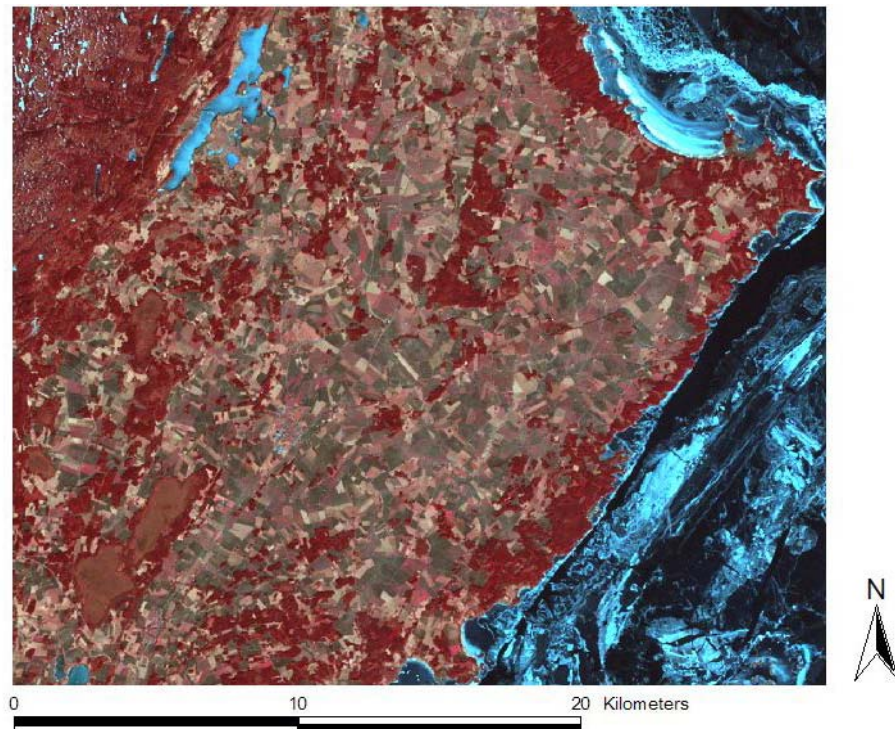


Figur 3: Översikt fra Sveriges Nationalatlas (8) over jordartsforskelle på Dalboslätten.



## Satellitdata

I undersøgelsen anvendes multispektrale satellitbillede data fra Landsat-7 ETM+ (figur 4). Satellitbilledet er fra den 14. marts 2003. Metadata for satellitdata fremgår af tabel 1.



Figur 4: Farveinfrarød (colorinfrared, CIR) komposition af Landsat-7 ETM+ over Dalboslätten. Billedet er optaget den 14. marts 2003.

Tabel 1: Metadata for de multispektrale satellitdata fra Landsat-7 ETM+, der er anvendt i undersøgelsen.

| Optagedata  |           | Geometriske data |             | Spektrale data |                         |
|-------------|-----------|------------------|-------------|----------------|-------------------------|
| Mission     | Landsat-7 | Geometrisk       |             | TM1            | Blue                    |
| Instrument  | ETM+      | processering     | 2C          | TM2            | Green                   |
| Scene ID    | 195-019   | X-dim            | 25 m        | TM3            | Red                     |
| Dato        | 3/14/2003 | Y-dim            | 25 m        | TM4            | Near Infra-Red (NIR)    |
| Tidspunkt   | 9:06:01   | Projektion       | Transverse  | TM5            | Middle Infra-Red (MIR)  |
| Sol azimuth | 159.2     |                  | Mercator    | TM6            | Thermal Infra-Red (TIR) |
| Solhøjde    | 27.1      | Sfæroide         | Bessel 1841 | TM7            | Middle Infra-Red (MIR)  |

I analysen anvendes ukalibrerede DN-værdier uden atmosfærisk korrektion.

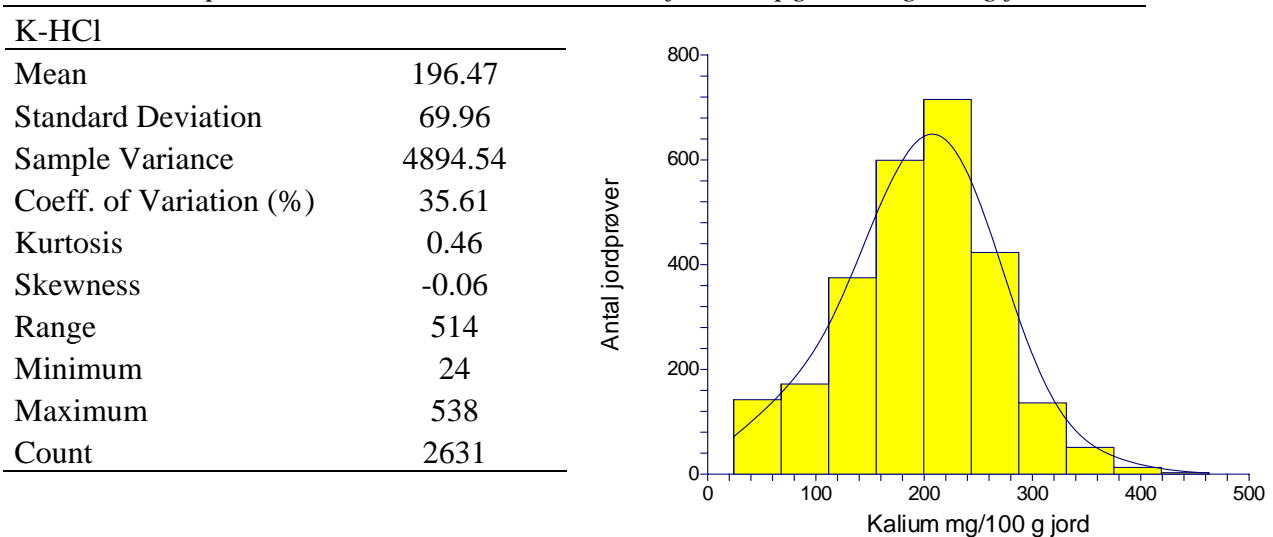
## Jordprøver

Jordens indhold i K-HCl er bestemt ved hydro-klorid metoden (K-HCl). HCl- metoden anvendes til at bestemme det samlede indhold af K-HCl i jorden (ofta benämnt förrådskalium). Som en grov tumregel kan man säga att K-HCl-talet dividerat med 10 ger en uppfattning om lerhalten i procent (1; 6; 7).

Jordprøverne er indsamlet over en årrække og uden reference til dette projekt. Der er i forbindelse med dette projekt sorteret i jordprøverne, således at geografisk isolerede grupper af jordprøver er fjernet for at mindske indflydelsen fra jordprøver, der fremtræder mere tilfældige og usystematisk indsamlede end de øvrige jordprøver. Totalt 2631 jordprover med K-HCl-analyser anvendes.

Deskriptiv statistik for K-HCl data fremgår af tabel 2. Kaliumindholdet (eller K-HCl-talet) varierer fra 24 til 538 mg/100 g jord med ett gennemsnitligt K-HCl-tal på 195.

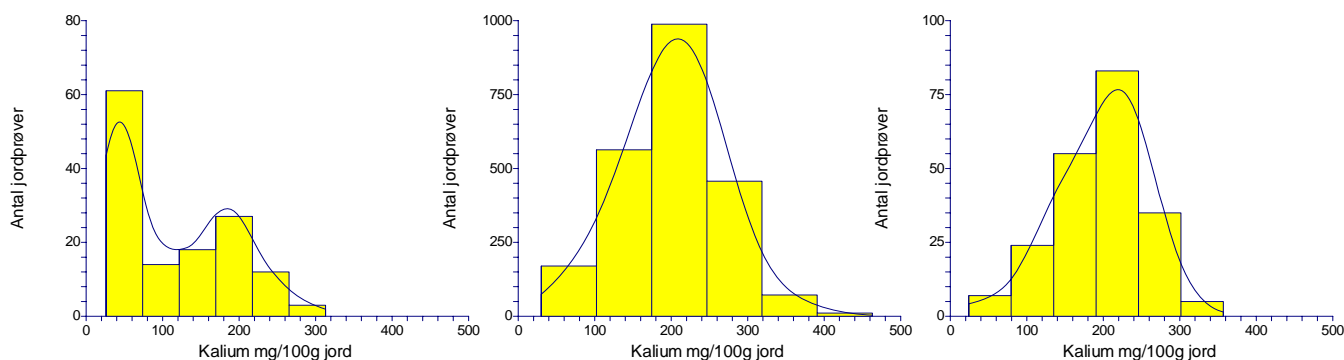
Tabel 2: Deskriptiv statistik over kaliumindholdet i jorden opgivet i mg/100 g jord



Antal jordprøver fordelt på jordarter enligt den översiktliga jordartskartan i figur 3 og jordartens gennemsnitligt indhold i K-HCl fremgår af tabel 3. Der er kun få prøver som faller inom området som karakteriseras som morän og organiske jorde og disse grupper udgår i de efterfølgende undersøgelser. I følge tabellen findes det laveste indhold i K-HCl på jorde med grovmo\_sand\_grus og det højeste på lera\_finmo. Histogrammerne i figur 5 viser, at der ikke er signifikant forskel i mængden af K-HCl som følge af jordartstype. Att döma av histogrammet för K-HCl i jordprover som hamnat i området med grovmo\_sand\_grus, tycks data utgöras av två populationer. Det är sannolikt att jordartskartans generalisering medfört att ett antal provpunkter som snarare borde karakteriseras som tagna i lerjord, i jordartskartan redovisas som grovmo\_sand\_grus.

Tabel 3: Antal prøver fordelt på jordarter og gennemsnitlig indhold af K-HCl .

| Jordart                    | Antal prøver | K-HCl (gennemsnit) |
|----------------------------|--------------|--------------------|
| Grovmo_sand_grus           | 135          | 114                |
| Lera_finmo                 | 2263         | 202                |
| Morän                      | 21           | 119                |
| Organiska_jordar           | 3            | 48                 |
| Tunt jordtäckte, kalt berg | 209          | 198                |

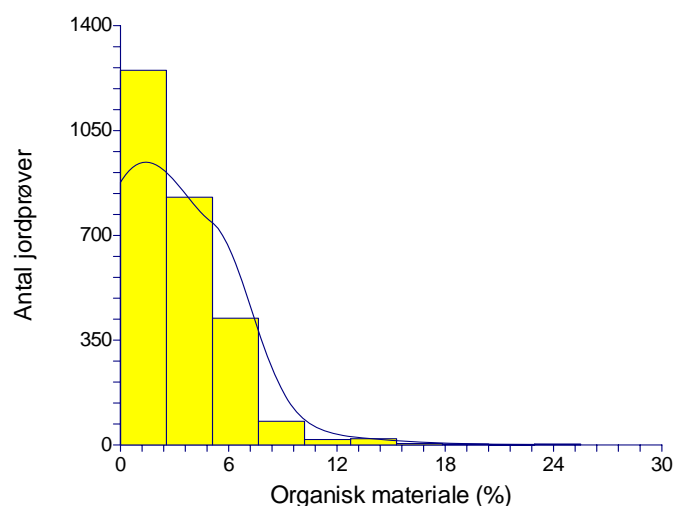


Figur 5: Histogram over K-HCl fordelt på jordarter. Fra venstre mod højre: Grovmo\_sand\_grus, Lera\_finmo og Tunt jordtücke, kalt berg.

Et antal af jordprøverne (1428 prøver) er ligeledes bestemt for indholdet i organisk materiale (mullhalt). Deskriptiv statistik over organisk materiale (%) i jorden fremgår af tabel 4.

Tabel 4: Deskriptiv statistik over organisk materiale (%) i jorden.

| Organisk materiale (%)  |       |
|-------------------------|-------|
| Mean                    | 5.22  |
| Standard Deviation      | 2.53  |
| Sample Variance         | 6.42  |
| Coeff. of Variation (%) | 48.54 |
| Kurtosis                | 42.23 |
| Skewness                | 4.47  |
| Range                   | 42.00 |
| Minimum                 | 0.50  |
| Maximum                 | 42.50 |
| Count                   | 1428  |



## Klassifikation

Den del af satellitbilledet, som anvendes til jordbrug (se blokdata på figur 2) blev opdelt i spektrale klasser vha. usuperviseret klassifikation (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) (4). Klassifikationen blev foretaget på kanal 2, 3 og 4. Kanal 2, 3 og 4 anvendes til at fremstille et farveinfrarødt billede, hvilket fremmer en visuel fortolkningen af de resulterende spektrale klasser. Antallet af klasser blev valgt til otte klasser ved en iterativ proces baseret på visuel analyse af klassifikationsresultatet. Den endelige klassifikation blev filtreret med et majority filter (4).

## Regressionsanalyse

Sammenhængen mellem jordprøver og satellit data blev undersøgt ved hjælp af regressionsanalyser mellem geografisk samhørende punktværdier og ved hjælp af regressionsanalyser mellem geografisk samhørende middelværdier fra områder med samme spektrale klasse.

Der blev anvendt stepwise regressionsanalyse (5). En forklaringsvariabel (satellitdata i syv forskellige spektrale bånd) blev tilføjet modellen, hvis signifikansniveau for variabelen var  $> 0.05$ . En forklaringsvariabel blev fjernet fra modellen igen, hvis signifikansniveauet faldt til  $< 0.20$ .

Regressionskoefficienter er angivet som Pearson's regressionskoefficienter (5).

### ***Stratificering af data***

Datamaterialet blev analyseret før og efter stratificering i et antal strata eller grupper på baggrund af datamaterialets tilhørsforhold. Datamaterialer blev stratificeret efter: 1) jordbundstype, 2) spektrale klasser og 3) indhold i organisk materiale .

Det er af statistiske hensyn ønskeligt, at der er mindst 5-10 datapunkter pr. variabel pr. gruppe. Landsat-7 ETM+ har syv kanaler og der er derfor mindst 35 datapunkter / jordprøver i hver gruppe, der indgår i analyserne.

## **Resultater og diskussion**

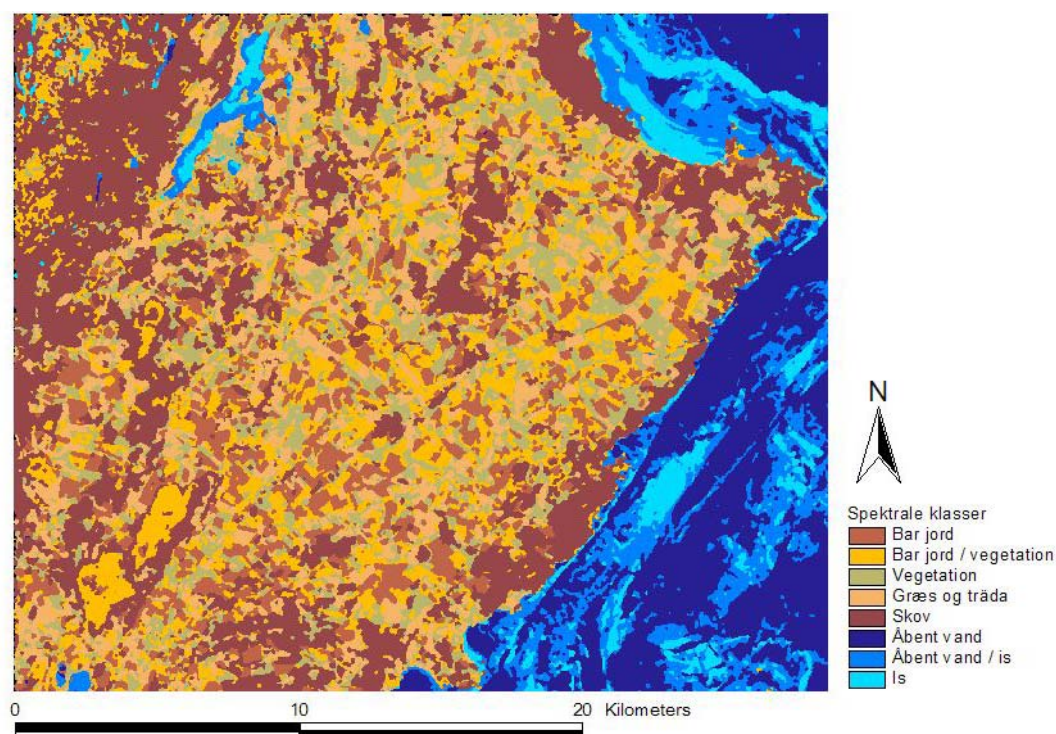
### ***Klassifikation***

De spektrale klasser fra klassifikationen af satellitdata kunne ved hjælp af selve satellitbilledet, kort over arealanvendelse og blokdata (figur 2) og bedriftsplaner fra Bjertorp, Västra Götaland (Jacobsen og Söderstrom, 2003) tildeles otte overordnede arealklasser (tabel 5): vand (klasse 1), is (klasse 4), en overgangsklasse mellem vand og is (klasse 8), skov (klasse 2), afgrøder/vegetation (klasse 6), bar jord (klasse 3) og en overgangsklasse mellem afgrøder/vegetation og bar jord (klasse 5). Klasse 5 fremtrådte inden filtrering mange steder langs med blokgrænser, som en enkelt pixel mellem blokke med bar jord og blokke med afgrøder. Klassifikationen blev filtreret indtil dette fænomen var fjernet og en visuel analyse kunne bekræfte en klassifikation i sammenhængende spektrale klasser. Det filtrerede klassificerede billede fremgår af figur 6.

Tabel 5. Klassificering marktyper från satellitbilden.

| Klass | Marktyp                        |
|-------|--------------------------------|
| 1     | Vattenyta                      |
| 2     | Skog                           |
| 3     | Bar jord                       |
| 4     | Is                             |
| 5     | Övergångsklass grödor/bar jord |
| 6     | Grödor                         |
| 7     | Träda, gräs                    |
| 8     | Övergångsklass vattenyta/is    |





*Figur 6: Resultatet af klassifikationen af satellitbilledet i otte spektrale klasser vha. iso clustering metoden.*

De spektrale klasser har opbrudt blokgrænserne og har dermed givet mulighed for at gruppere jordprøverne i homogene spektrale klasser.

Antal jordprøver fordelt på spektrale klasser og det gennemsnitlige indhold af K-HCl fremgår af tabel 6. Det fremgår af tabellen, at 12 jordprøver er klassificeret som klasse 2 (skov). Disse punkter ligger i grænsefladen mellem landbrug og skovbrug og er pga. skyggeforhold og spektral mixing blevet klassificeret som skov. Tabel 6 viser, at opdeling i spektrale klasser ikke har nogen direkte sammenhæng med det gennemsnitlige indhold af K-HCl. Den spektrale klassifikation er en funktion af den aktuelle arealtype på tidspunktet for satellitoptagelsen.

*Tabel 6: Antal prøver og gennemsnitligt indhold i K-HCl fordelt på spektrale klasser.*

| Spektral klasse | Antal prøver | K-HCl (gennemsnit) |
|-----------------|--------------|--------------------|
| 2               | 12           | 165.83             |
| 3               | 658          | 199.94             |
| 5               | 724          | 209.06             |
| 6               | 694          | 187.67             |
| 7               | 543          | 187.43             |

Antal jordprøver fordelt på jordarter, spektrale klasser og det gennemsnitlige indhold af K-HCl fremgår af tabel 7. På grund af antallet af prøver udelades grovmo\_sand\_grus spektral klasse 3 og 5 af den videre analyse.

*Tabel 7: Antal prøver og gennemsnitligt indhold i K-HCl fordelt på jordarter og spektrale klasser.*

| Jordart                   | Spektral klasse | Gruppe                        | Antal prøver | K-HCl (gennemsnit) |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------|--------------------|
| Grovmo_sand_grus          | 3               | Grovmo_sand_grus (3)          | 13           | 75.85              |
|                           | 5               | Grovmo_sand_grus (5)          | 29           | 172.34             |
|                           | 6               | Grovmo_sand_grus (6)          | 53           | 113.94             |
|                           | 7               | Grovmo_sand_grus (7)          | 37           | 84.97              |
| Lera_finmo                | 3               | Lera_finmo (3)                | 594          | 202.55             |
|                           | 5               | Lera_finmo (5)                | 657          | 211.51             |
|                           | 6               | Lera_finmo (6)                | 595          | 195.68             |
|                           | 7               | Lera_finmo (7)                | 417          | 196.18             |
| Tunt jordtække, kalt berg | 3               | Tunt jordtække, kalt berg (3) | 50           | 203.18             |
|                           | 5               | Tunt jordtække, kalt berg (5) | 35           | 197.46             |
|                           | 6               | Tunt jordtække, kalt berg (6) | 38           | 183.18             |
|                           | 7               | Tunt jordtække, kalt berg (7) | 79           | 199.49             |

### ***Ikke stratificeret regional analyse***

Den statistiske sammenhæng mellem K-HCl og spektrale data for alle jordprøver fremgår af tabel 8. Sammenhængen er signifikant på 0.05% niveauet. Regressionskoefficienten for alle jordprøver er 0.18. Bånd 2, 4, 5, 6 og 7 indgår i regressionen som de betydende og signifikante spektrale bånd.

*Tabel 8: Statisk sammenhæng mellem K-HCl og satellit data med angivelse (x) af de signifikante bånd 1-7.*

| Antal prøver | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 2631         | 0.19  |   | x |   | x | x | x | x |

### ***Stratificeret regional analyse***

En stratificering af jordprøver efter jordarter øger forklaringsgraden for Grovmo\_sand\_grus til 25% og udelukker sammenhængen mellem K-HCl-indholdet og satellit data for område som karakteriseres som Tunt jordtække, kalt berg (tabel 9).

*Tabel 9: Statistisk sammenhæng mellem satellit data (bånd 1-7) og indholdet i K-HCl fordelt på jordarter med angivelse (x) af de signifikante spektrale bånd.*

| Jordart                   | Antal prøver | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| Grovmo_sand_grus          | 135          | 0.25  |   |   | x |   | x |   |   |
| Lera_finmo                | 2263         | 0.17  |   | x |   | x | x | x | x |
| Tunt jordtække, kalt berg | 207          | -     |   |   |   |   |   |   |   |

De 135 prøver, der repræsenterer grovmo\_sand\_grus kommer fra to forskellige områder og den forbedrede forklaringsgrad skyldes formentlig mere den geografiske placering af punkter end det geologiske udgangsmateriale.

En stratificering af jordprøver efter jordarter og spektrale klasser på baggrund af iso clustering af satellitdata fremmer generelt forklaringsgraderne (tabel 10), men da antallet af jordprøver er få undtaget for lera\_finmo, forsvinder det regionale element. Det store antal jordprøver (og dermed den store geografiske spredning) for lera\_finmo tyder på en stabil og systematisk sammenhæng mellem K-HCl og spektrale data efter opdeling i spektrale klasser. Sammenhængen mellem K-HCl og spektral klasse 7 er ikke eksisterende eller meget lav for alle jordarter. Spektral klasse 7 er veletableret vegetation af græs eller træda, hvilket kan forklare den manglende sammenhæng mellem K-HCl og satellit data for denne spektralklasse.

På baggrund af dette datamateriale, er der ikke konsistens i forklaringsgraderne som en funktion af jordartstype, selvom datamaterialet deles op i spektrale klasser.

*Tabel 10: Statistisk sammenhæng mellem K-HCl-indholdet for jordarter fordelt på spektrale klasser og satellit data (bånd 1-7) med angivelse (x) af de signifikante spektrale bånd.*

| Jordart (spektral klasse)     | Antal prøver | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| Grovmo_sand_grus (6)          | 53           | 0.29  |   | x |   | x | x |   |   |
| Grovmo_sand_grus (7)          | 37           | 0.11  |   |   |   |   |   | x |   |
| Lera_finmo (3)                | 594          | 0.36  | x | x | x |   | x | x |   |
| Lera_finmo (5)                | 657          | 0.27  |   | x |   | x | x | x |   |
| Lera_finmo (6)                | 595          | 0.19  |   | x |   | x | x | x | x |
| Lera_finmo (7)                | 417          | -     |   |   |   |   |   |   |   |
| Tunt jordtække, kalt berg (3) | 50           | 0.20  | x |   |   |   |   |   |   |
| Tunt jordtække, kalt berg (5) | 35           | 0.27  |   |   | x |   |   |   | x |
| Tunt jordtække, kalt berg (6) | 38           | 0.16  |   | x |   |   |   |   |   |
| Tunt jordtække, kalt berg (7) | 79           | -     |   |   |   |   |   |   |   |

Jordartskortet er i en meget lav opløselighed og det er derfor tvivlsomt om jordartskortet berettiger til denne detaljerede anvendelse.

Sammenhængen mellem K-HCl og satellit data fordelt på spektrale klasser uden hensyntagen til jordart fremgår af tabel 11.

*Tabel 11: Statistisk sammenhæng mellem K-HCl og satellit data (bånd 1-7) fordelt på spektrale klasser med angivelse (x) af de signifikante spektrale bånd.*

| Spektral klasse | Antal prøver | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 3               | 658          | 0.37  | x | x | x |   | x | x |   |
| 5               | 724          | 0.27  |   | x |   | x | x | x |   |
| 6               | 694          | 0.21  |   | x |   | x | x | x | x |
| 7               | 543          | 0.15  |   |   | x | x | x | x | x |

Antallet af prøver er jævnt fordelt mellem de spektrale klasser, hvilket tyder på en tilsvarende regionalitet for alle grupper. Spektral klasse 3 er bar jord og har formentlig af denne årsag den højeste forklaringsgrad på 37%. Herefter kommer klasse 5, som er overgangszonen mellem bar jord og etablerede afgrøder, dernæst klasse 6, som repræsenterer etablerede afgrøder til sidst klasse 7, som er afgrøder fra sidste år (græs/tråda). Der er en konsistens i faldende forklaringsgrad med øget vegetationsmængde.

Tabel 12 viser sammenhængen mellem satellit data og K-HCl-indholdet efter opdeling af datamaterialet i spektrale klasser og efterfølgende gruppering af jordprøver ud fra organisk materiale (grænseværdi lig med 5%). Der er ingen systematisk sammenhæng mellem indholdet i organisk materiale og forklaringsgraden af sammenhængen mellem K-HCl-indholdet og satellit data.

*Tabel 12: Statistisk sammenhæng mellem K-HCl og satellit data (bånd 1-7) fordelt på spektrale klasser og indholdet i organisk materiale. (x) angiver de signifikante spektrale bånd.*

| Spektral klasse | Organisk materiale (%) | Antal prøver | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------|------------------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 3               | < 5                    | 486          | 0.37  |   | x | x |   | x | x |   |
|                 | > 5                    | 160          | 0.27  |   |   | x |   | x | x |   |
| 5               | < 5                    | 554          | 0.26  |   | x |   | x | x | x |   |
|                 | > 5                    | 161          | 0.21  |   | x |   |   |   | x |   |
| 6               | < 5                    | 553          | 0.14  |   | x |   | x |   |   |   |
|                 | > 5                    | 130          | 0.23  |   | x |   | x | x |   |   |
| 7               | < 5                    | 403          | 0.16  |   |   | x | x | x |   |   |
|                 | > 5                    | 134          | -     |   |   |   |   |   |   |   |

De forskellige gruppering af jordprøver på baggrund af jordarter, spektrale klasser og humusindhold har forbedret forklaringsgraden i forhold til en analyse af hele datamaterialet uden stratificering. Der er dog ingen af grupperingerne, der har en forklaringsgrad på 50% og derover. Det er gennemgående gruppering i spektrale klasser, der har betydning for resultatet mens gruppering i jordarter og humusindhold er uden systematisk variation.



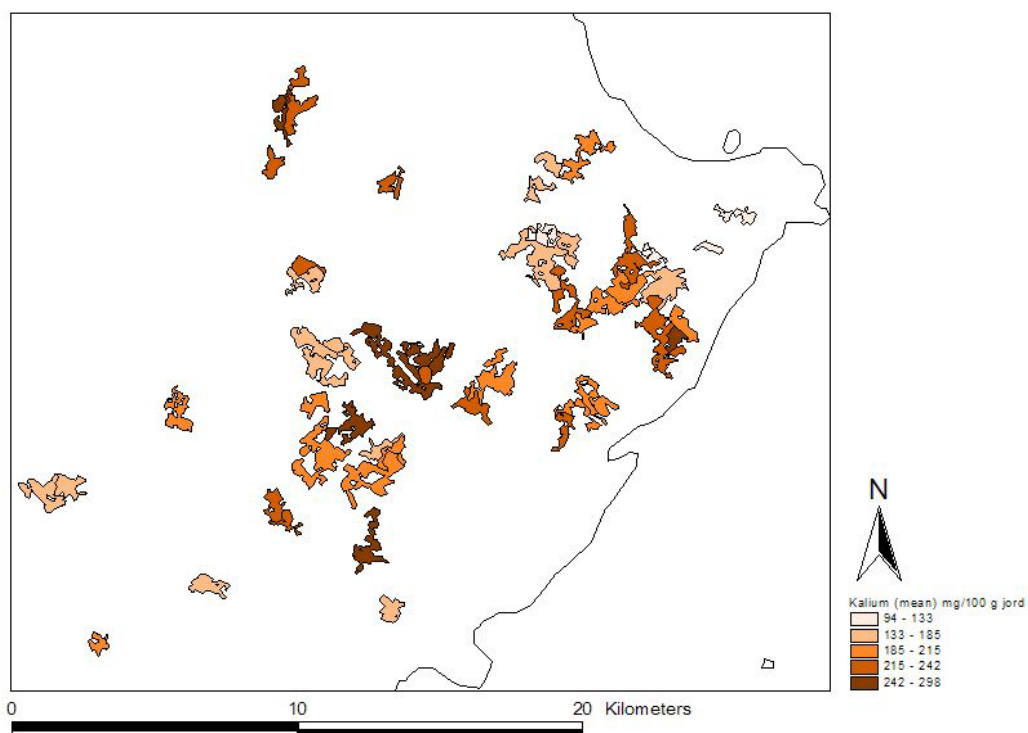
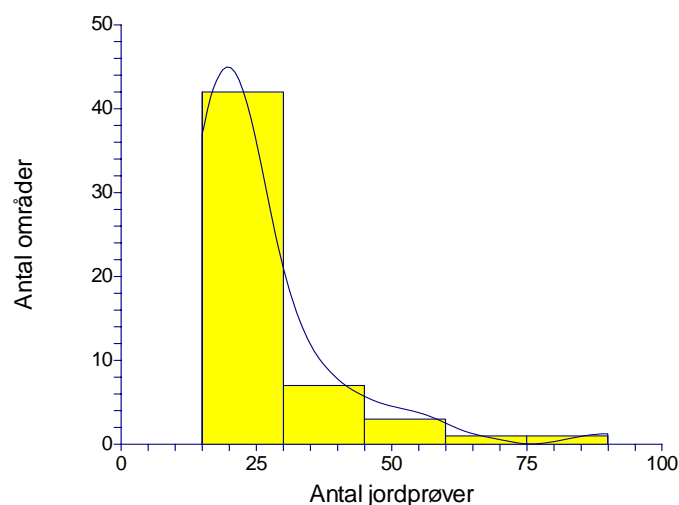
## Stratificeret regional analyse på baggrund af gennemsnitsværdier

Områder (polygoner) med samme spektral klasse og > 15 jordprøver blev lokaliseret med henblik på en analyse af områdernes gennemsnitsværdier. Antallet af områder for hver spektrale klasse og det samlede antal jordprøver fremgår af tabel 13. Histogrammet (figur 7) viser, at de fleste områder har mellem 15 og 30 jordprøver. Figur 8 viser den geografiske fordeling af de udvalgte områder og det gennemsnitlige indhold i K-HCl.

Tabel 13: Antal områder (polygoner) og samlet antal jordprøver fordelt på spektrale klasser

| Spektral klasse | Antal områder | Samlet antal jordprøver |
|-----------------|---------------|-------------------------|
| 3               | 13            | 344                     |
| 5               | 16            | 366                     |
| 6               | 14            | 408                     |
| 7               | 11            | 273                     |

Figur 7. Histogram som viser antal jordprøver per område med samme spektral klass.



Figur 8: Geografisk fordeling af de udvalgte områder (polygoner) med angivelse af det gennemsnitlige indhold i K-HCl.

Tabel 13 viser, at ingen af spektral klasserne er repræsenteret af > 35 jordprøver, hvilket hidtil har været kriterie for at en given gruppe, kan anvendes i analysen. Der er dispenseret fra > 35 datapunkter-reglen ved at begrænse maximalt antal betydende variable (spektrale bånd) i regressionsanalysen til to variable. Regression mellem gennemsnitligt indhold i K-HCl og gennemsnitlig spektral refleksion for de respektive spektrale klasser fremgår af tabel 14.

*Tabel 14: Regression mellem gennemsnitligt indhold i K-HCl og satellit data (bånd 1-7) med angivelse (x) af de betydende bånd.*

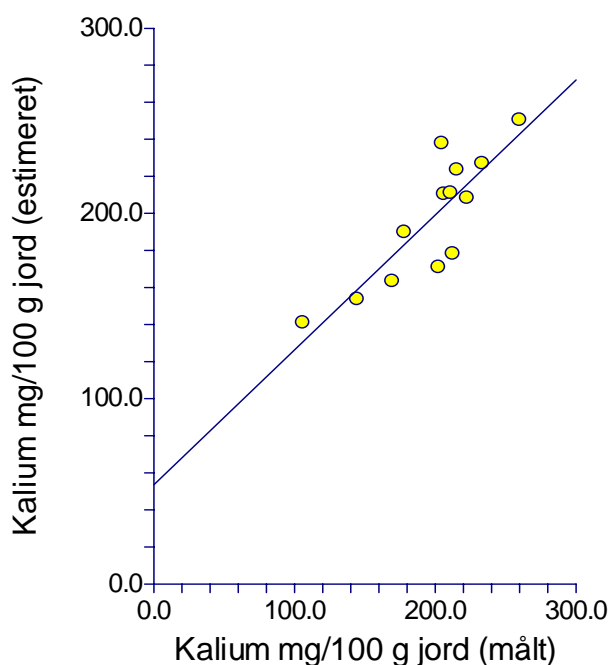
| Spektral klasse | Antal områder | $r^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------|---------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 3               | 13            | 0.73  |   |   | x |   |   | x |   |
| 5               | 16            | 0.32  |   |   |   | x | x |   |   |
| 6               | 14            | 0.42  | x | x |   |   |   |   |   |

Forklaringsgraden for spektral klasse 3 er interessant i det den er tæt på 75%. Forklarings-graden er under 50% for de to øvrige spektrale klasser. Den lineære sammenhæng mellem gennemsnitsindholdet i K-HCl og gennemsnitsværdier for satellit data for klasse 3, fremgår af ligning (1):

$$\text{K-HCl (mean)} = 16.42 * \text{ETM3 (mean)} + 28.04 * \text{ETM6 (mean)} - 3215.172$$

N = 13, standardafvigelse på estimatet = 25.2

Sammenhængen mellem målte og estimerede værdier af K-HCl for klasse 3 fremgår af figur 9.



*Figur 9: Grafisk fremstilling af sammenhængen mellem kaliumindholdet baseret på jordprøver (K-HCl (målt)) og kaliumindholdet baseret på satellit data (K-HCl (estimeret)) for de 13 områder i spektral klasse 3, der er repræsenteret af > 15 jordprøver.*

De 13 områder, der indgår i analysen, er angivet ved deres ID-nummer i tabel 15 og tabel 16 sammen med antal prøver og deskriptiv statistik for de respektive områder. Tabel 15 beskriver variationen i K-HCl (målt) og tabel 16 beskriver variationen i K-HCl (estimeret).

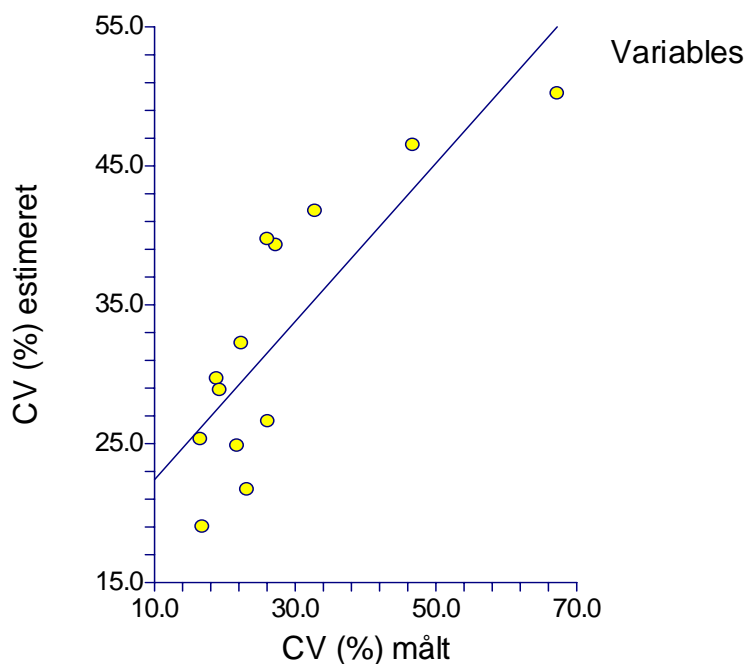
*Tabel 15: Deskriptiv statistik for K-HCl (målt) for de 13 områder i spektral klasse 3, der er repræsenteret af > 15 jordprøver. CV(%) er lig med variationskoefficienten.*

| Område ID | Antal prøver | K-HCl (mg/ 100 g jord) – jordprøver |                   |         |       |
|-----------|--------------|-------------------------------------|-------------------|---------|-------|
|           |              | Gennemsnit                          | Standardafvigelse | Varians | CV(%) |
| 1089      | 21           | 259.90                              | 43.80             | 1918.39 | 16.85 |
| 2666      | 19           | 106.00                              | 71.32             | 5087.11 | 67.29 |
| 3283      | 49           | 204.71                              | 44.63             | 1992.17 | 21.80 |
| 3713      | 26           | 212.50                              | 40.14             | 1611.30 | 18.89 |
| 3852      | 23           | 169.57                              | 46.29             | 2143.17 | 27.30 |
| 4176      | 22           | 233.45                              | 54.16             | 2933.02 | 23.20 |
| 4509      | 32           | 206.19                              | 34.17             | 1167.38 | 16.57 |
| 4532      | 23           | 202.39                              | 52.80             | 2787.70 | 26.09 |
| 4598      | 28           | 222.64                              | 58.22             | 3390.09 | 26.15 |
| 5263      | 27           | 210.93                              | 47.24             | 2231.38 | 22.40 |
| 5357      | 20           | 144.55                              | 47.51             | 2257.63 | 32.87 |
| 5436      | 34           | 215.41                              | 41.63             | 1733.46 | 19.33 |
| 6296      | 20           | 178.10                              | 83.28             | 6935.57 | 46.76 |

*Tabel 16: Deskriptiv statistik for K-HCl (estimeret) for de 13 områder i spektral klasse 3, der er repræsenteret af > 15 jordprøver. CV(%) er lig med variationskoefficienten.*

| Område ID | Antal celler | K-HCl (mg/ 100 g jord) – estimeret fra spektrale data |                   |         |       |
|-----------|--------------|---|-------------------|---------|-------|
|           |              | Gennemsnit  | Standardafvigelse | Varians | CV(%) |
| 1089      | 304          | 251.33  | 47.72             | 2276.85 | 18.99 |
| 2666      | 324          | 145.21  | 72.86             | 5309.23 | 50.18 |
| 3283      | 1316         | 231.63  | 57.48             | 3304.03 | 24.82 |
| 3713      | 757          | 183.40  | 54.38             | 2957.48 | 29.65 |
| 3852      | 384          | 188.46  | 74.02             | 5478.39 | 39.27 |
| 4176      | 343          | 225.86  | 48.94             | 2394.64 | 21.67 |
| 4509      | 546          | 215.20  | 54.41             | 2960.92 | 25.29 |
| 4532      | 714          | 192.37  | 76.37             | 5833.06 | 39.70 |
| 4598      | 1015         | 225.70  | 60.00             | 3599.68 | 26.58 |
| 5263      | 2572         | 205.34  | 66.12             | 4371.60 | 32.20 |
| 5357      | 859          | 172.38  | 71.92             | 5172.28 | 41.72 |
| 5436      | 2401         | 242.53  | 69.91             | 4888.05 | 28.83 |
| 6296      | 772          | 163.64  | 76.04             | 5782.42 | 46.47 |

Figur 10 viser sammenhængen mellem målt og estimeret CV(%).

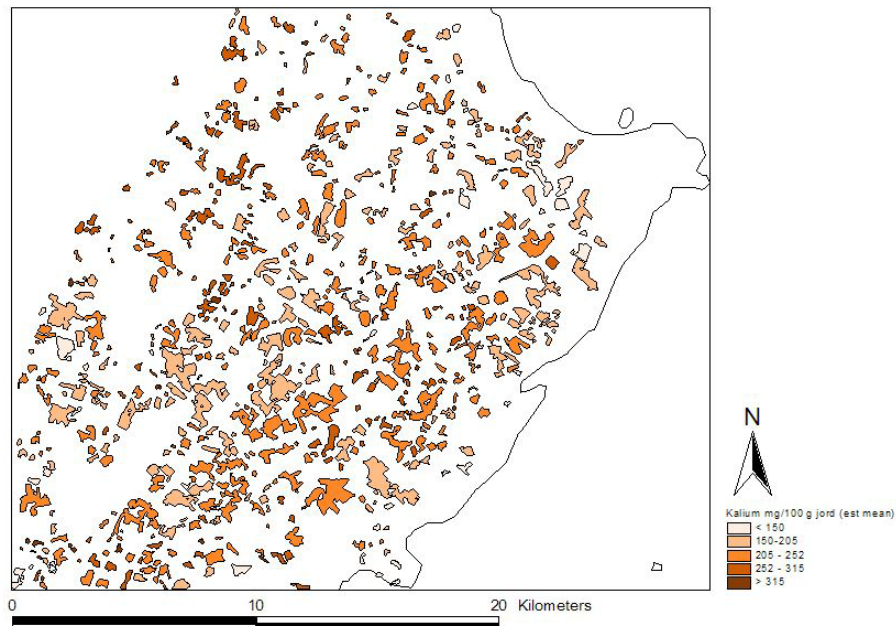


Figur 10: Grafisk fremstilling af sammenhængen mellem variationskoefficienten for målt (CV(%) målt) og estimeret (CV(%)estimeret) K-HCl indhold.

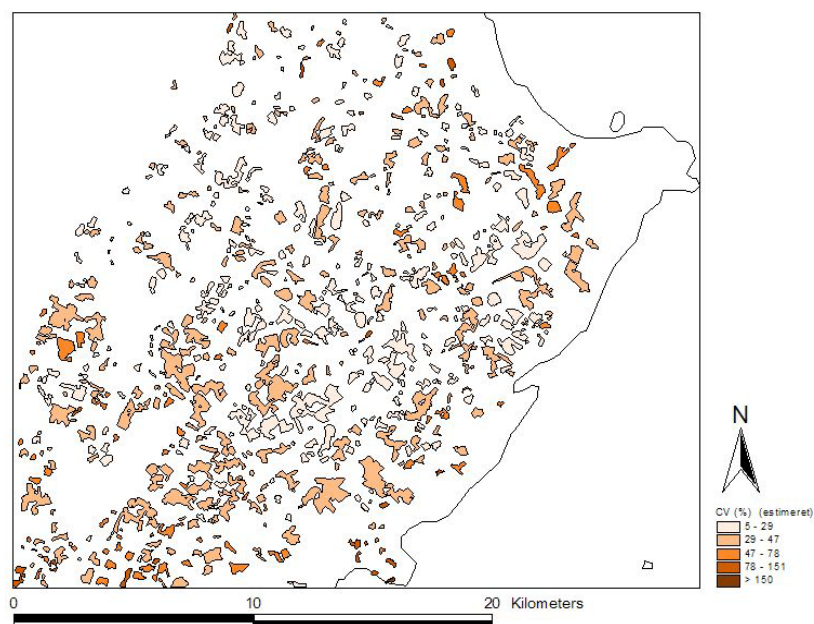
Det fremgår, at ved lave varianskoefficienter overestimeres variationskoefficienten for det estimerede K-HCl-indhold. Det kan skyldes, at jordprøverne ikke ligger jævnt fordelt i området og dermed ikke beskriver hele variationen i området. Ved høje varianskoefficienter underestimeres variationskoefficienten for det estimerede K-HCl-indhold. Det kan skyldes, at de spektrale signal ikke kan modellere den samlede variation på grund af for lidt spredning i gråtoner. Udfra en lineære betragtning mellem de to varianskoefficienter forklarer estimatet omtrent 70 % af variationen i de målte data ( $r^2 = 0.68$ ).

## Kortlægning af regional jordbundsvariation

Kortlægning af det gennemsnitlige indhold i K-HCl er vist for samtlige områder, der tilhører spektral klasse 3 (figur 11). K-HCl-indholdet er estimeret ud fra satellit data på baggrund af ligning (1). Kort over variationskoefficienten (CV(%)) for K-HCl-indholdet estimeret ud fra satellit data er vist i figur 12. Kortet over CV(%) kan anvendes som udgangspunkt for en analyse af behovet for jordbunds-kort indenfor et givent område med henblik på præcisionslandbrug.



Figur 11: Kort over det gennemsnitlige K-HCl-indholdet indenfor et område (polygon) estimeret ud fra satellitdata.



Figur 12: Kort over variationskoefficienten (CV(%)) for K-HCl-indholdet estimeret ud fra satellitdata.

## Konklusion

Undersøgelsen har vist, at det er muligt at anvende satellitdata fra marts måned til regional kortlægning af den gennemsnitlige indhold i K-HCl indenfor et geografisk sammenhængende område (polygon) uden vegetation/afgrøder. Satellitdata forklarer omtrent 75% af variationen i det gennemsnitlige indhold i K-HCl. Sammenhængen er fastlagt udfra 13 områder med ialt 344 jordprøver.

Satellitdata kan anvendes til at beregne variationskoefficienten over et område på baggrund af et estimeret indhold i K-HCl. Variationskoefficienten er et udtryk for jordbundsvariationen i området. Forklaringsgraden mellem variationskoefficienten beregnet på baggrund af målte værdier over K-HCl-indholdet og variationskoefficienten beregnet på baggrund af satellitestimerede værdier af K-HCl-indholdet er omtrent 70 %.

Projektet har således vist, at satellit data kan anvendes til at kortlægge områder med høj jordbundsvariation, hvor jordprøvetagning og jordbundskortlægning med henblik på præcisionslandbrug kan være af betydning.

## Litteratur

1. Jacobsen, A. & M. Söderström 2004: Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold. Precisionsodling Sverige. Teknisk Rapport. Skara. In press.
2. Jacobsen, A. & M. Söderström 2001: Analyse af samspillet mellem multispektrale satellitbilleder, jordbundsdata og N-sensor data. Delprojekt 2. Projekt 00980: Information i IR-data og SPOT XS-data. Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Landskabsøkologi, Danmark. Upubliceret projektrapport for VL-stiftelsen, Svenska Lantmännen, Lidköping.
3. Irons, J.R., R.A. Weismiller, G.W. Petersen, 1989: Soil Reflectance. In: Theory and Applications of Optical Remote Sensing. Ed: Asrar. Wiley. N.Y.
4. ERDAS Inc., 2001: ERDAS IMAGINE Tour Guides. ERDAS Imagine v8.5.ERDAS Inc. Atlanta Georgia, USA.
5. Hintze, J.L., 1999: NCSS 2000 User's Guide I. Number Cruncher Statistical System, Kaysville, Utah, USA.
6. Gustafson, K. 1999: Models for precision application of lime. In: Stafford J.V. (ed.): Precision Agriculture '99. Part 1. 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense Denmark. SCI, UK. 175-180.
7. Heiwall, H. 1984: Förhållandet mellan lerhalt och kaliuminnehåll i de skaraborgska jordarna. Skaraborgs läns Hushållningssällskaps tidning, No. 6, 1984.

8. C. Fredén (ed.), 1994: Geology. The National Atlas of Sweden. Bra Böcker, Höganäs, Sweden.

Förteckning över rapporter utgivna av Avdelningen för precisionsodling i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter*:

1. Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis
2. Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvet och ogräsförekomst i vårsäd
3. Delin, S.(red.), 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
4. Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005.
5. Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006
6. Söderström, M., 2006. PrecisionWizard – gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-Sensor.
7. Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS
8. Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvet – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
9. Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006.
10. Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
11. Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält
12. Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor .
13. Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning .
14. Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007 .
15. Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.
16. Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter* (ISSN:1651-2804):

1. Börjesson, T, Ivarsson, K., Engquist, A., Wikström, L. 2002. Kvalitetsprognoser för brödvete och malkorn med reflektansmätning i växande gröda.
2. Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M. och Wetterlind, J. 2002. Handburen Hydro sensor i vall -prediktering av torrsubstansavkastning och kvalitetsegenskaper.



3. Söderström, M. (red.). 2003. Precisionsodling Sverige 2002, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna.
4. Jonsson, A. och Söderström, M. 2003. Precisionsodling - vad är det?
5. Nyberg, A., Lindén, B., Wetterlind, J. och Börjesson, T. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar med en handburensensor i vallförsök med nötflytgödsel på Tubbetorp i Västergötland, 2002.
6. Nyberg, A., Stenberg, M., Börjesson, T. och Stenberg, B. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar i växande vall med ett bärbart NIR-instrument – en pilotstudie.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling i Väst, Tekniska rapporter*:

1. Rapport från en studieresa till norra Tyskland.
2. Thylén, L & Algerbo, P-A. Teknik för växtplatsanpassad odling.
3. Seminarium och utställning i Skara den 10 mars 1998.
4. Delin, S. 2000. Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält.
5. Lundström, C. Delin, S. och Nissen, K. 2000. Precisionsodling - teknik och möjligheter.

AGROVÄST-projektet *Precisionsodling Sverige* syftar till att utveckla och tillämpa användbara metoder inom precisionsodlingen till nytta för det praktiska jordbruket.

I projektet arbetas med precisionsodling i form av utvärdering och tolkning av samt teknik för markkartering, kalkning, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i ett samarbete mellan bl.a. Svenska Lantmännen, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Svalöf Weibull AB, Yara AB, hushållningssällskap, Nordkalk AB och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

---

**Distribution:**

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för mark och miljö  
Precisionsodling och pedometri  
Box 234, 532 23 SKARA

Internet: <http://po-mv.slu.se>  
<http://www.agrovast.se/precision>